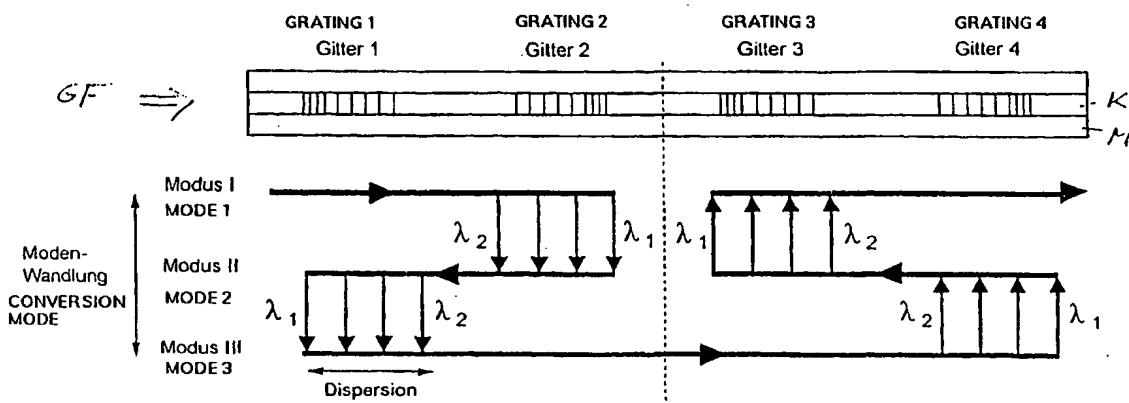




(51) Internationale Patentklassifikation <sup>7</sup> :  G02B 6/34, 6/13	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/54083  (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 14. September 2000 (14.09.00)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE00/00722		(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
(22) Internationales Anmeldedatum: 11. März 2000 (11.03.00)		
(30) Prioritätsdaten: 199 11 182.0 12. März 1999 (12.03.99) DE		Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>
(71) Anmelder ( <i>für alle Bestimmungsstaaten ausser US</i> ): PROFILE OPTISCHE SYSTEME GMBH [DE/DE]; Gaußstrasse 11, D-85757 Karlsfeld (DE).		
(72) Erfinder; und		
(75) Erfinder/Anmelder ( <i>nur für US</i> ): NOWAK, Walter [DE/DE]; Kaitzer Strasse 121, D-01187 Dresden (DE). PEUPELMANN, Jens [DE/DE]; Bahnhofstrasse 7, D-09599 Freiberg (DE). SAUER, Michael [DE/DE]; Donndorfstrasse 21, D-01217 Dresden (DE). BAUMANN, Ingolf [DE/DE]; Gehestrasse 25, D-01127 Dresden (DE). MEISSNER, Johann [DE/DE]; Friedensstrasse 24, D-01097 Dresden (DE). PALME, Dieter [DE/DE]; Abensbergstrasse 47, D-80993 München (DE). BANDEMAYER, Adalbert [DE/DE]; Gaußstrasse 11, D-85757 Karlsfeld (DE).		
(74) Anwalt: MÜNICH, Wilhelm; Dr. Münich & Kollegen, Wilhelm-Mayr-Strasse 11, D-80689 München (DE).		

(54) Title: FIBER TRANSMISSION ELEMENT FOR GENERATING A CHROMATIC DISPERSION

(54) Bezeichnung: FASER-TRANSMISSIONSBAUELEMENT ZUR ERZEUGUNG CHROMATISCHER DISPERSION



## (57) Abstract

The invention relates to a transmission element for generating a predetermined chromatic dispersion comprising: a glass fiber optical waveguide in which not only the LP<sub>01</sub> basic mode, but also at least one LP<sub>mn</sub> mode can be executed, and; two pairs of Bragg gratings (grating 1 and 2 or 3 and 4), of which at least one pair has chirped Bragg gratings. The invention provides that in each pair, one Bragg grating reflects the impinging ray of light approximately contrary to the direction of incidence and back to the other Bragg grating from which the ray of light exits in or at least parallel to the original direction of incidence.

**(57) Zusammenfassung**

Beschrieben wird ein Tramsmissionsbauelement zur Erzeugung einer vorgebbaren chromatischen Dispersion mit einem Glasfaser-Lichtwellenleiter, in dem nicht nur der LP<sub>01</sub>-Grundmodus, sondern auch zumindest einer LP<sub>mn</sub>-Mode führbar ist, und zwei Paaren von Bragg-Gittern (Gitter 1 und 2 bzw. 3 und 4), von denen wenigstens ein Paar gechirpte Bragg-Gitter aufweist, bei dem in jedem Paar das eine Bragg-Gitter den auftreffenden Lichtstrahl in etwa entgegen der Einfallsrichtung zurück auf das andere Bragg-Gitter reflektiert, aus dem der Lichtstrahl in oder zumindest parallel zur ursprünglichen Einfallsrichtung austritt.

**LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Maurenien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		

## Faser-Transmissionsbauelement zur Erzeugung chromatischer Dispersion

### BESCHREIBUNG

#### **Technisches Gebiet**

Die Erfindung bezieht sich auf ein Transmissionsbauelement zur Erzeugung chromatischer Dispersion.

Standardfasern weisen beispielsweise für den Wellenlängenbereich des Erbium-Faserverstärkers, d.h. für Wellenlängen  $\lambda$  um 1550 nm eine anormale Dispersion mit einem Dispersionsparameter  $D \approx 17$  ps pro nm Bandbreite und pro km Faserlänge auf. Um diese - störende - Dispersion zu kompensieren, ist der Einsatz von Bauelementen mit entgegengesetzter, d.h. normaler Dispersion (negativer Dispersionsparameter D) geeigneter, der Länge der zu kompensierenden Standardfaser angepaßter Größe erforderlich.

#### **Stand der Technik**

Zur Erzeugung einer negativen Dispersion mit einer für die Kompensation der Dispersion von Standardfasern und insbesondere von Glasfasern geeigneten Größe werden bislang in der Praxis Kompensationsfasern eingesetzt. Diese haben den Nachteil, daß sie aufgrund der erforderlichen Länge einen großen Platzbedarf haben und sehr teuer sind.

Aus der DE 35 24 527 A1 ist es bekannt, als Kompensationselemente, die die gewünschte negative Dispersion erzeugen, gechirpte Faser-Bragg-Gitter einzusetzen. „Gechirpt“ bedeutet, daß der Reflexionsort im Faser-Bragg-Gitter wellenlängenabhängig ist, so daß die Laufwege und damit die Laufzeiten wellenlängenabhängig sind; hierdurch erhält man die gewünschte (negative) Dispersion, die beispielsweise die Dispersion einer Standardfaser bestimmter Länge kompensieren kann.

Nachteilig bei dem aus der DE 35 24 527 A1 bekannten Kompensationselement ist, daß das dispersionsbeaufschlagte reflektierte Signal durch einen 3 dB-Faserkoppler oder nach der Beschreibung dieser Druckschrift bevorzugt durch einen Zirkulator abgezweigt wird. Der zusätzliche 3 dB-Faserkoppler hat den gravierenden Nachteil von 6 dB Leistungsverlust optisch, entsprechend 12 dB elektrisch. Der Zirkulator wiederum ist ein teueres Zusatzelement.

Weiterhin haben N.M. Litchinitser et al. in dem Artikel "Fiber Bragg gratings for dispersion compensation in transmission", erschienen in J. Lightwave Technol. 15 (1997) S. 1303 beschrieben, daß die an den Bandgrenzen der in Transmission benutzten Faser-Bragg-Gitter auftretenden Dispersionseffekte dazu ausgenutzt werden können, das Faser-Bragg-Gitter als Zweitor zu verwenden. Dabei sind jedoch gegenüber der Reflexion an gechirpten Gittern nur bescheidene Ergebnisse zu erwarten.

Bekannt ist auch, daß Faser-Bragg-Gitter, die (als die klassische Anwendung) bei einer Wellenlänge die Fasergrundwelle reflektieren, bei anderen Wellenlängen in andere Moden reflektieren. Dieser Effekt wird als kontradirektionale Modenkopplung bezeichnet. Bei entsprechender Dimensionierung liegt eine reflektierende Modenwandlung vor.

In der EP 0 826 990 A1 wird beschrieben, daß die kontradirektionale Modenkopplung in Mantelmoden zur Erzielung von Dämpfungseffekten verwendet werden kann. Weiterhin wird in der EP 0 829 740 A3 vorgeschlagen, die kontradirektionale Modenkopplung in geführte Moden, z.B. in den LP<sub>11</sub>-Modus, zur Realisierung von Dämpfungs-elementen mit unterschiedlichen Frequenzcharakteristiken auszunutzen.

Bekannt sind ferner sogenannte langperiodische Fasergitter, die kodirektionale Modenkopplung, d.h. Modenwandlung in Transmissionsrichtung, bewirken. Kodirektionale Kopplung in Mantelmoden wird in der US-PS 5 430 817 und in geführte Moden in der US-PS 5 818 987 jeweils zur Erzielung von Filtereffekten vorgeschlagen.

In dem Vortrag "Dispersion compensation using only fiber Bragg gratings" von P. Petruzzi et al., Optical Fiber Conference (OFC) 1999, Vortrag FA5, S. 14 des Konferenzbandes, wird gezeigt, daß durch drei Gitter, von denen mindestens eines gechirpt ist, statt des reflektierenden Dispersionseintores ein transmittierendes Dispersionszweitor realisiert und so der Zirkulator vermieden werden kann. Hiernach koppelt das zweite Gitter die eingespeiste LP<sub>01</sub>-Welle unter kontradirektionaler Modenwandlung in einen er-

sten Mantelmodus zurück zum ersten Gitter, wo eine kontradirekionale Modenwandlung (nun wieder in Vorwärtsrichtung) in einen zweiten Mantelmodus erfolgt, der im dritten Gitter kodirektonal (es muß sich also um ein langperiodisches Gitter handeln) in die LP<sub>01</sub>-Grundwelle gekoppelt wird. Es wird offensichtlich eine Standard-Singlemodefaser verwendet.

Ein erster zumindest für die vorliegende experimentelle Ausführung auch angeführter Nachteil ist die geringe Koppeleffizienz zu den Mantelmoden sowie insbesondere auch die Koppeleffizienz zwischen den Mantelmoden. Ein zweiter Nachteil besteht in der Benutzung der zwei Mantelmoden, da diese durch Umgebungseffekte und insbesondere durch Faserkrümmungen viel stärker beeinflußt werden als geführte Moden. Ein weiterer Nachteil ist die Benutzung eines langperiodischen Gitters, dessen Filtercharakteristik nicht so gut beherrschbar ist wie die von Bragg-Gittern und die wesentlich größere Baulängen erfordern.

Auf die vorstehend genannten Druckschriften wird im übrigen zur Erläuterung aller hier nicht explizit erläuterten technischen Ausführungen und/oder Anwendungen ausdrücklich Bezug genommen.

#### **Darstellung der Erfindung**

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Bauelement anzugeben, das eine bestimmte, vorgebbare normale oder anormale Dispersion bei kleiner Baugröße und geringen Kosten sowie mit möglichst geringen Verlusten erzeugt.

Eine erfindungsgemäße Lösung dieser Aufgabe ist im Patentanspruch 1 angegebenen. Weiterbildungen der Erfindung so-

wie eine Verwendung sind Gegenstand der Ansprüche 2 folgende.

Erfindungsgemäß wird ein Transmissionsbauelement zur Erzeugung einer vorgebbaren (positiven oder negativen) chromatischen Dispersion geschaffen, das beispielsweise dazu geeignet ist, die Dispersion eines Glasfaser-Lichtwellenleiters zu kompensieren. In dem erfundungsgemäßen Bauelement ist nicht nur der LP<sub>01</sub>-Grundmodus, sondern auch zumindest eine LP<sub>mn</sub>-Mode führbar. Hierzu weist das erfundungsgemäße Transmissionsbauelement zwei Paare von Bragg-Gittern auf, von denen beispielsweise jedes Paar wenigstens ein gechirptes Bragg-Gitter aufweisen kann. Bei dem erfundungsgemäßen Transmissionsbauelement reflektiert in jedem Paar das eine Bragg-Gitter die einlaufende Strahlung in etwa entgegen der Einfallssrichtung zurück auf das andere Bragg-Gitter dieses Paars, von dem der Lichtstrahl in ursprünglichen Richtung der Strahlung oder zumindest parallel dazu läuft.

Insbesondere im Hinblick auf die Herstellkosten ist es besonders bevorzugt, daß die Bragg-Gitter kontradirektional modenkoppelnde Faser-Bragg-Gitter sind, die bevorzugt in dem Glasfaser-Lichtwellenleiter erzeugt sind. Dabei können neben normalen Fasern auch Spezialfasern verwendet werden, in denen nicht nur der LP<sub>01</sub>-Grundmodus, sondern auch einige weitere Moden geführt werden. Dabei kann die Koppeleffizienz dieser Fasern und die Spreizung der Phasenkoeffizienten durch ein geeignetes Dotierungsmaterial und Dotierungsprofil optimiert werden.

Weist das erste gechirpte Faser-Bragg-Gitter eintrittsseitig die größere Gitterkonstante und austrittsseitig die kleinere Gitterkonstante auf, so steigt die Laufzeitdifferenz mit kürzer werdender Wellenlänge an. Dreht man die Chirprichtung des oder der Gitter um, so steigt die Laufzeitdifferenz mit länger werdender Wellenlänge an. Durch die Wahl der Cirprichtung kann also eingestellt werden, ob das erfindungsgemäße Bauelement normale oder anormale Dispersion eines vor- oder nachgeschalteten Elements und insbesondere einer Übertragungsstrecke kompensieren soll. Durch eine geeignete Wahl des Verlaufs des Chirps lässt sich auch ein Übergang von normaler zu anormaler Dispersion erreichen.

Dabei ist es bevorzugt, wenn alle Bragg-Gitter gechirpt sind, und/oder die beiden Gitter jeweils eines Paares unterschiedliche Gitterkonstanten(bereiche) mit insbesondere entgegengesetztem Chirp aufweisen. Gechirpte Gitter zeichnen sich dadurch aus, daß über ihre Länge die Gitterkonstante durch eine vorgegebene Funktion beschrieben wird. Im allgemeinen ist diese Funktion eine monotone, nicht konstante Funktion. Aufgrund der unterschiedlichen Ausbreitungsmodi weisen die Gitter i.a. unterschiedliche Chirpbereiche und damit Gitterkonstantenbereiche auf.

Bei einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist das Transmissionsbauelement so ausgebildet, daß im zu nutzenden Wellenlängenbereich erst das zweite Gitter des ersten Paares die eingangsseitig eingespeiste LP<sub>01</sub>-Grundwelle (Modus I) in einen Zwischenmodus (Modus II) kontradirektional modenkoppelt, daß das er-

ste Gitter den Zwischenmodus kontradirektional, also wieder in Vorwärtsrichtung, in einen dritten Modus (Modus III) modenkoppelt, daß das vierte Gitter den dritten Modus kontradirektional wieder in den Zwischenmodus (Modus II) modenkoppelt, und daß das dritte Gitter den Zwischenmodus kontradirektional, also wieder in Vorwärtsrichtung, in die LP<sub>01</sub>-Grundwelle (Modus I) modenkoppelt, die nach Durchgang durch das vierte Gitters infolge des Chirps der Gitter ausgangsseitig disersionsbeaufschlagt austritt.

Der Aufbau einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung kann damit wie folgt beschrieben werden:

Es werden Spezialfaser mit zwei Paaren von Faser-Bragg-Gittern benutzt; in jedem Paar erfolgt eine zweimalige unbeeinflußte Transmission der Signalwelle durch Faser-Bragg-Gitter und eine zweimalige Richtungsumkehr durch zweimalige kontradirektionale Modenkopplung. Dafür müssen drei unterschiedliche Moden benutzt werden. Im ersten Gitterpaar erfolgt die Kopplung vom LP<sub>01</sub>-Grundmodus (erster Modus) über einen Zwischenmodus (zweiter Modus) in einen dritten Modus, im zweiten Gitterpaar vom dritten Modus über z.B. den gleichen Zwischenmodus zurück in die LP<sub>01</sub>-Grundwelle.

Dimensionierungshinweise werden im anhand der Zeichnung beschriebenen Ausführungsbeispiel gegeben.

Vorteilhafterweise werden in dem mehrmodigen Glasfaser-Lichtwellenleiter die rotationssymmetrischen Moden LP<sub>02</sub> und LP<sub>01</sub> benutzt. Es können aber auch nichtrotationssymmetrische Moden, wie der LP<sub>11</sub>-Modus benutzt werden. Dann sind

die Faser-Bragg-Gitter geringfügig schräg zur Faserachse zu erzeugen. Neben zwei geführten Moden kann auch ein Mantelmodus benutzt werden. Gegenüber dem im zitierten Vortrag von P. Petruzzi et al. gemachten Vorschlag wird die Modenkopplung zwischen Mantelmoden vermieden, so daß eine deutliche größere Koppeleffizienz erhalten wird.

Das erfindungsgemäße Bauelement kann eine Dispersionkompensation über eine große Bandbreite ausführen. Eine große Bandbreite des Bauelements erfordert eine große und möglichst äquidistante Spreizung der Phasenkoeffizienten der zu-koppelnden Moden und eventueller Störmoden. Diese liegt z. B. beim parabolischen LWL vor. In dessen Kern nimmt die Brechzahl quadratisch über dem Radius ab.

Die Koppeleffektivität unterschiedlicher Moden in Faser-Bragg-Gittern kann verbessert werden, wenn neben radialen Bereichen mit der üblichen GeO<sub>2</sub>-Dotierung auch Bereiche mit F- und/oder B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Dotierung benutzt werden.

#### **Kurze Beschreibung der Zeichnung**

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert, in der zeigt:

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel der Erfindung.

#### **Darstellung eines Ausführungsbeispiels**

Fig. 1 zeigt eine Faser - insbesondere eine Glasfaser - GF mit einem Kern K und einem Mantel M; im Kern K sind bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel vier Faser-Bragg-Gitter 1 bis 4 erzeugt. Die Gitter 1 und 2 bilden das erste Paar, während die Gitter 3 und 4 das zweite Paar bilden.

Die Faser-Bragg-Gitter eines Paares weisen unterschiedliche Gitterkonstantenbereiche auf und sind bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel mit einem Chirp dargestellt, der bei den Gittern in einem Paar jeweils entgegengesetzt ist. Die Gitter können in bekannter Weise durch Brechungsindexvariation im Grundmaterial der Faser hergestellt werden. Zur Erzeugung des Brechzahlprofils kann beispielsweise die Glasfaser GF mit GeO<sub>2</sub>, F- und/oder B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dotiert werden. Alternativ ist auch eine Erzeugung des Brechzahlprofils durch Ionenaustausch oder andere bekannte Verfahren möglich.

Ferner ist im unteren Teil der Zeichnung der Modendurchlauf, d.h. die Modenwandlung zwischen den Moden I, II und III durch die Gitter 1..4 des erfindungsgemäßen Bauelements, d.h. die in den einzelnen Gittern erfolgende Modenwandlung schematisch dargestellt.

Kontradirektionale Modenkopplung erfolgt, wenn zwischen den Phasenkoeffizienten  $\beta_1$  und  $\beta_2$  der zu koppelnden Moden und der Gitterperiodenlänge  $\Lambda$  die Beziehung

$$\Lambda = 2\pi / (\beta_1 + \beta_2)$$

gilt. In Fig. 1 passiert die einlaufende LP<sub>01</sub>-Grundwelle, die sich im Modus I befindet, das Gitter 1 unbeeinflußt, da

$$\Lambda_i \neq 2\pi / (\beta_i + \beta_i) \quad i \text{ beliebig}$$

gilt. Sie wird wegen

$$\Lambda_2 = 2\pi / (\beta_{II} + \beta_{II})$$

am Gitter 2 als Modus II reflektiert, der am Gitter 1 wegen

$$\Lambda_i = 2\pi / (\beta_{II} + \beta_{III})$$

als Modus III wieder in Vorwärtsrichtung reflektiert wird und das Gitter 2 wegen

$$\Lambda_2 \neq 2\pi / (\beta_{III} + \beta_i) \quad i \text{ beliebig}$$

unbeeinflußt passiert. Im zweiten Gitterpaar von Fig. 1 mit  $\Lambda_4 = \Lambda_1$  und  $\Lambda_3 = \Lambda_2$ , wiederholen sich die beschriebenen Passagen und Modenkopplungen in umgekehrter Reihenfolge und Richtung. Vom Modus III wird in Gitter 4 kontradirektional in den Zwischenmodus II und von diesem in Gitter 3 kontradirektional (wieder in Vorwärtsrichtung) in die LP01-Grundwelle (Modus I) gekoppelt.

Erfolgt ein entgegengesetzter Chirp der Gitter wie in Fig. 1 angedeutet, so erkennt man, daß bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel in allen Gittern für die kürzeste Wellenlänge  $\lambda_1$  der weiteste, für die längste Wellenlänge  $\lambda_2$  der kürzeste Weg zurückzulegen ist. Es addiert sich die Wirkung aller Gitter, die Gesamtlänge entspricht etwa der eines konventionellen, reflektierenden Dispersionskompensationsgitters. Da die Gruppenlaufzeit  $t_g$  etwa proportional der Weglänge ist, wird  $dt_g/d\lambda < 0$ . Das bedeutet, es wird eine normale Dispersion erzeugt. Selbstverständlich ist es aber auch möglich, den Chirp „umzudrehen“, so daß eine anormale Dispersion erzeugt wird.

Vorstehend ist die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens und der allgemeinen Anwendbarkeit beschrieben worden. Selbstverständlich sind die verschiedensten Abwandlungen möglich:

So können anstelle von vier gechirpten Faser-Bragg-Gittern nur zwei gechirpte - beispielsweise im ersten Paar - und zwei ungechirpte Faser-Bragg-Gitter im anderen Paar verwendet werden. Die gechirpten Faser-Bragg-Gitter sorgen für die Weg- und damit die Laufzeitdifferenz, während die ungechirpten Faser-Bragg-Gitter lediglich die Transformation zwischen den verschiedenen Moden bewirken, und/oder zusätzlich eine wellenlängenselektive Filterung durchführen.

Weiterhin können zur Erhöhung der Weg-Unterschiede und damit der Laufzeitdifferenz mehrere erfindungsgemäße Anordnungen hintereinander geschaltet bzw. angeordnet werden.

#### **Gewerbliche Anwendbarkeit**

Die erfindungsgemäß ausgebildeten Bauelemente können für alle Anwendungen eingesetzt werden, bei denen die Bereitstellung einer normalen Dispersion einer bestimmten, durch den jeweiligen Anwendungsfall vorgegebenen Größe erforderlich ist. Insbesondere können die erfindungsgemäßen Bauelemente zur Kompensation der anormalen Dispersion von Glasfasern, wie sie beispielsweise für die Datenübertragung genutzt werden, eingesetzt werden. Die Größe der von den erfindungsgemäßen Bauelementen aufgebrachten Dispersion ist dann von der Länge der zu kompensierenden Glasfaserstrecke abhängig.

Die (ungefähre) Größe der Laufzeit-Differenz zwischen den Extremwerten der auftretenden Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ , die die kompensierbare anormale Dispersion bestimmt, wird durch die Ausbildung der einzelnen Faser-Bragg-Gitter in der Faser GF eingestellt. Eine einstellbare Dispersion und damit einer variable Einstellung der Laufzeit-Differenz

und somit der Abgleich auf veränderliche chromatische Dispersionen der anzuschließenden Übertragungsfasern kann durch das Aufbringen von definierten mechanischen Kräften - Zug-, Dehn- und/oder Druckspannungen - und/oder durch die Einstellung bzw. Thermostatisierung der Faser-Bragg-Gitter erfolgen.

PATENTANSPRÜCHE

1. Transmissionsbauelement zur Erzeugung einer vor-  
gebbaren normalen oder anormalen chromatischen  
Dispersion mit
  - einem Glasfaser-Lichtwellenleiter, in dem  
nicht nur der LP<sub>01</sub>-Grundmodus, sondern auch  
zumindest eine LP<sub>mn</sub>-Mode führbar ist, und
  - zwei Paaren von Bragg-Gittern (Gitter 1 und 2  
bzw. 3 und 4), von denen wenigstens ein Paar  
gechirpte Bragg-Gitter aufweist,  
bei dem in jedem Paar das eine Bragg-Gitter den  
auftreffenden Lichtstrahl in etwa entgegen der  
Einfallsrichtung zurück auf das andere Bragg-  
Gitter reflektiert, aus dem der Lichtstrahl in  
oder zumindest parallel zur ursprünglichen Ein-  
fallsrichtung austritt.
2. Transmissionsbauelement nach Anspruch 1,  
dadurch **gekennzeichnet**, daß die Bragg-Gitter kon-  
tradirektional modenkoppelnde Faser-Bragg-Gitter  
sind, die insbesondere in dem Glasfaser-Lichtwel-  
lenleiter erzeugt sind.
3. Transmissionsbauelement nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch **gekennzeichnet**, daß alle Bragg-Gitter ge-  
chirpt sind.
4. Transmissionsbauelement nach einem der Ansprüche 1  
bis 3,

dadurch **gekennzeichnet**, daß die beiden Gitter jeweils eines Paars unterschiedliche Gitterkonstantenbereiche und entgegengesetzten Chirp aufweisen.

5. Transmissionsbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

dadurch **gekennzeichnet**, daß im zu nutzenden Wellenlängenbereich erst das zweite Gitter (2) des ersten Paars die eingangsseitig eingespeiste LP<sub>01</sub>-Grundwelle (Modus I) in einen Zwischenmodus (Modus II) kontradirektional modenkoppelt wird,

daß das erste Gitter (1) den Zwischenmodus kontradirektional, also wieder in Vorwärtsrichtung, in einen dritten Modus (Modus III) modenkoppelt,  
daß das vierte Gitter (4) den dritten Modus kontradirektional wieder in den Zwischenmodus (Modus II) modenkoppelt, und

daß das dritte Gitter (3) den Zwischenmodus kontradirektional, also wieder in Vorwärtsrichtung, in die LP<sub>01</sub>-Grundwelle (Modus I) modenkoppelt, die nach Durchgang durch das vierte Gitters (4) infolge des Chirps der Gitter (1 bis 4) ausgangsseitig dispersionsbeaufschlagt austritt.

6. Transmissionsbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

dadurch **gekennzeichnet**, daß zur Erzeugung der Bragg-Gitter im Kern der Glasfaser ein parabolisches Brechzahlprofil vorgesehen ist.

7. Transmissionsbauelement nach Anspruch 6,

dadurch **gekennzeichnet**, daß zur Erzeugung des

Brechzahlprofils die Glasfaser mit GeO<sub>2</sub>, F- und/oder B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dotiert ist.

8. Transmissionsbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 7,  
dadurch **gekennzeichnet**, daß die Glasfaser näherungsweise den gleichen Modenfeldradius wie die anzuschließenden Fasern haben.
9. Transmissionsbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 8,  
dadurch **gekennzeichnet**, daß die geführten rotationssymmetrischen Moden LP<sub>01</sub>, LP<sub>02</sub> und LP<sub>03</sub> benutzt werden.
10. Transmissionsbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 9,  
dadurch **gekennzeichnet**, daß auch nichtrotations-symmetrische geführte Moden, namentlich der LP<sub>11</sub>-odus, benutzt werden, wobei die Bragg-Gitter in der Glasfaser nicht senkrecht, sondern schräg zur Faserachse erzeugt werden.
11. Transmissionsbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 10,  
dadurch **gekennzeichnet**, daß neben zwei geführten Moden auch ein Mantelmodus benutzt wird.
12. Transmissionsbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 11,  
dadurch **gekennzeichnet**, daß zur Dispersionskompen-sation 1. Ordnung die Gitter (1 bis 4) linear ge-

chirpt sind oder zur Dispersionskompensation auch höherer Ordnung eines oder auch mehrere der Gitter (1 bis 4) abweichend von der Linearität gechirpt sind.

13. Transmissionsbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 12,  
dadurch **gekennzeichnet**, daß zur genauen Einstellung der Laufzeitdifferenz zwischen den Extremwerten der verwendeten Wellenlängen definierte mechanische Kräfte auf die Faser aufgebracht und/oder die Temperatur der Faser innerhalb eines bestimmten Temperaturbereiches auf einen geeigneten Wert thermostatisiert wird.

---

14. Transmissionsbauelement mit erhöhter chromatischer Dispersion,  
dadurch **gekennzeichnet**, daß mehrere der Elemente nach einem der Ansprüche 1 bis 13 in Reihe geschaltet sind.
15. Verwendung eines Transmissionsbauelements nach einem der Ansprüche 1 bis 14 zur Kompensation der Dispersion von Glasfaser-Strecken.

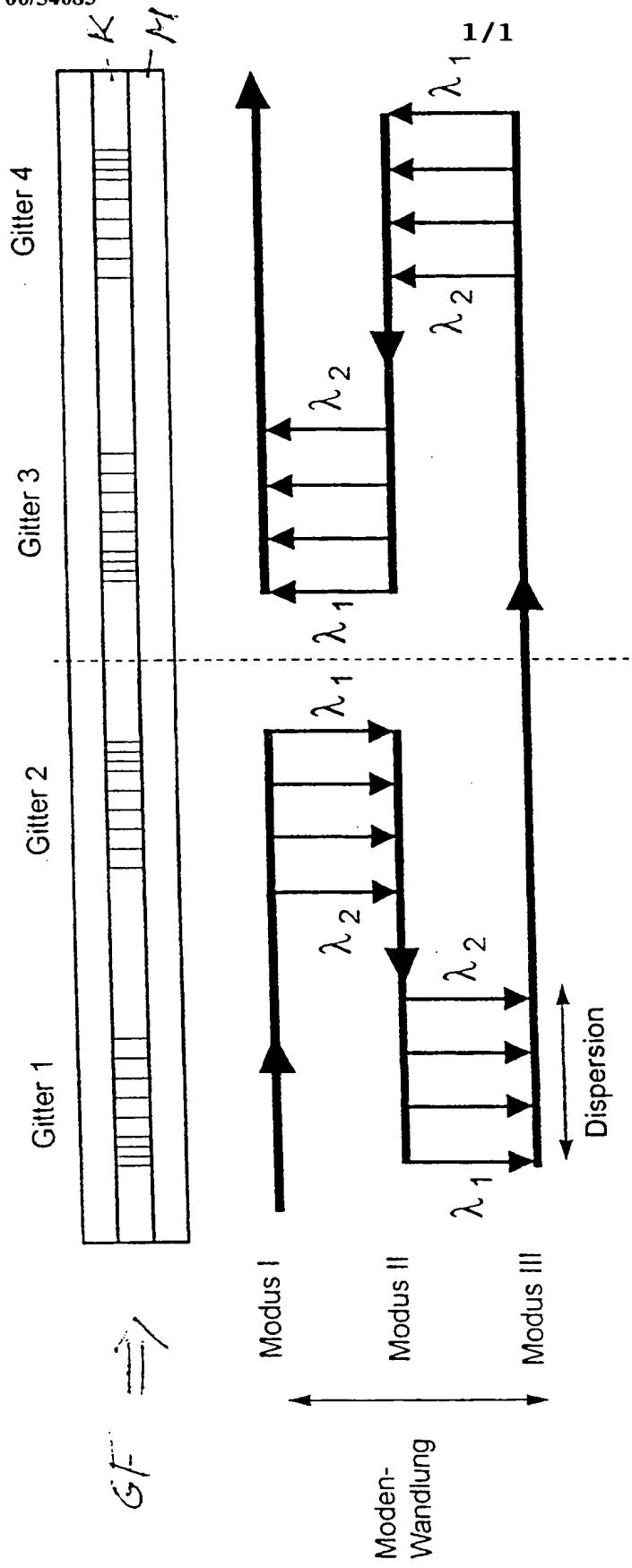
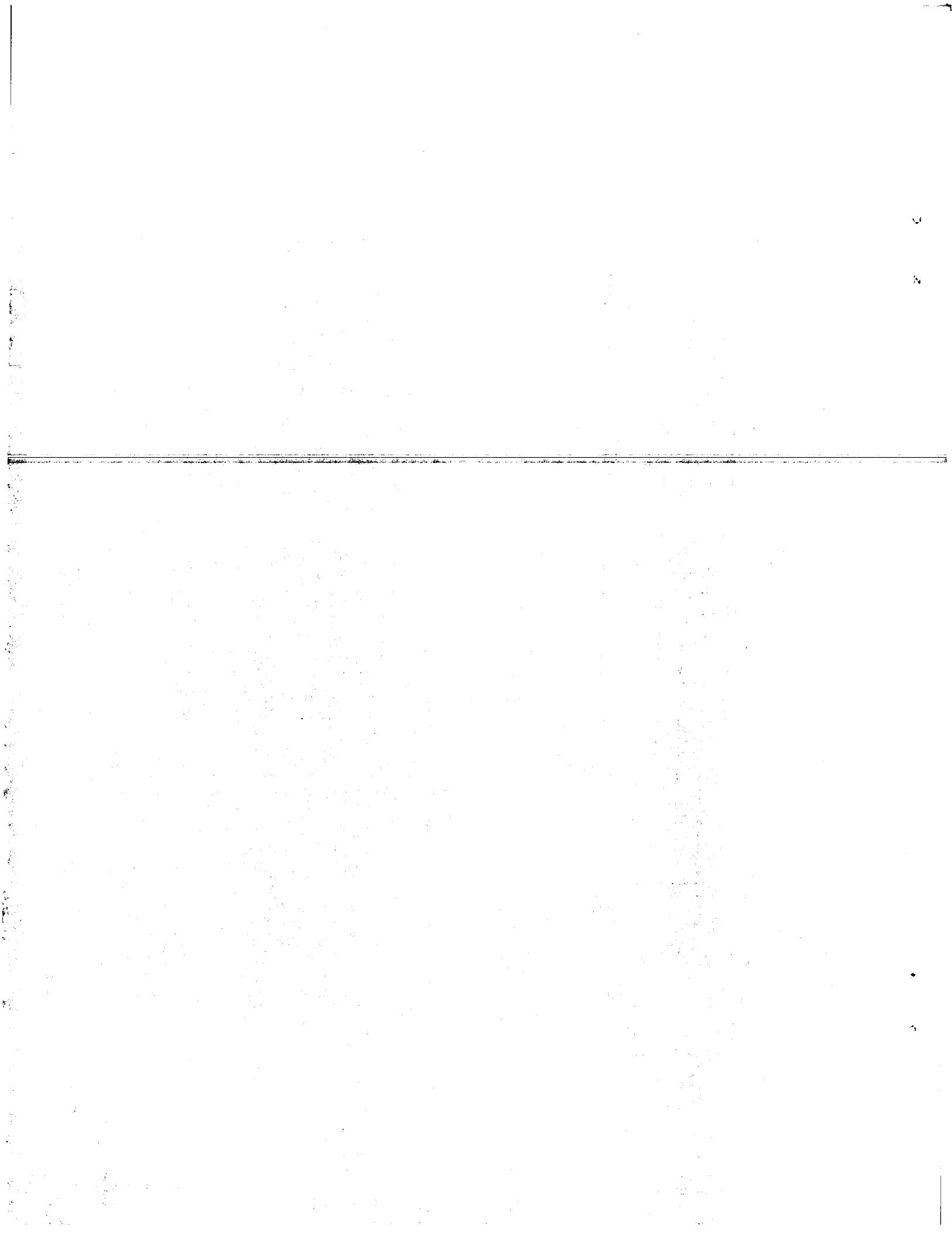


Fig. 1



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inte .onal Application No

PCT/DE 00/00722

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 IPC 7 G02B6/34 G02B6/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>HINTON K: "DISPERSION COMPENSATION USING APODIZED BRAGG FIBER GRATINGS IN TRANSMISSION"  <i>JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, US, IEEE.</i>          NEW YORK,          vol. 16, no. 12, December 1998 (1998-12),          pages 2336-2346, XP000826333          ISSN: 0733-8724          abstract</p> <p>---</p> <p>-/-</p>	1

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

9 August 2000

17/08/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Malic, K

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inte      ional Application No  
PCT/DE 00/00722

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>LITCHINITSER N M ET AL: "DISPERSION OF CASCADED FIBER GRATINGS IN WDM LIGHTWAVE SYSTEMS" JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, US, IEEE. NEW YORK, vol. 16, no. 8, 1 August 1998 (1998-08-01), pages 1523-1529, XP000786588 ISSN: 0733-8724 abstract</p> <p>---</p>	1
A	<p>KY N H ET AL: "EFFICIENT BROADBAND INTRACORE GRATING LP01-LP02 MODE CONVERTERS FOR CHROMATIC-DISPERSION COMPENSATION" OPTICS LETTERS, US, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, vol. 23, no. 6, 15 March 1998 (1998-03-15), pages 445-447, XP000753367 ISSN: 0146-9592 abstract</p> <p>---</p>	1
A	<p>US 4 953 939 A (EPWORTH RICHARD E) 4 September 1990 (1990-09-04) cited in the application abstract; figures 1-6</p> <p>---</p>	1
A	<p>EP 0 826 990 A (ALSTHOM CGE ALCATEL) 4 March 1998 (1998-03-04) cited in the application abstract; figures 1-6</p> <p>---</p>	1
A	<p>EP 0 829 740 A (LUCENT TECHNOLOGIES) 18 March 1998 (1998-03-18) cited in the application abstract; figures 1-11</p> <p>---</p>	1
A	<p>US 5 430 817 A (VENG SARKAR ASHISH M) 4 July 1995 (1995-07-04) cited in the application abstract</p> <p>---</p>	1
A	<p>US 5 818 987 A (GONTHIER FRANÇOIS ET AL) 6 October 1998 (1998-10-06) cited in the application abstract; figures 1-4</p> <p>-----</p>	1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Inte. onal Application No

PCT/DE 00/00722

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 4953939	A	04-09-1990	GB 2161612 A		15-01-1986
			DE 3524527 A		16-01-1986
			ES 545070 D		01-01-1987
			ES 8703695 A		01-05-1987
			FR 2567655 A		17-01-1986
			JP 1804571 C		26-11-1993
			JP 5007683 B		29-01-1993
			JP 61038908 A		25-02-1986
EP 0826990	A	04-03-1998	FR 2752950 A		06-03-1998
			CA 2213649 A		02-03-1998
			JP 10090551 A		10-04-1998
			US 5887094 A		23-03-1999
EP 0829740	A	18-03-1998	US 5740292 A		14-04-1998
			AU 720592 B		08-06-2000
			AU 3745397 A		19-03-1998
			JP 10104454 A		24-04-1998
US 5430817	A	04-07-1995	CA 2141899 A,C		01-10-1995
			EP 0675611 A		04-10-1995
			JP 7283786 A		27-10-1995
US 5818987	A	06-10-1998	FR 2745641 A		05-09-1997
			AU 707442 B		08-07-1999
			AU 1498797 A		04-09-1997
			CA 2198768 A		01-09-1997
			EP 0793124 A		03-09-1997
			JP 9329719 A		22-12-1997

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int. nationales Aktenzeichen

PCT/DE 00/00722

**A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
**IPK 7 G02B6/34 G02B6/14**

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )  
**IPK 7 G02B**

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

**EPO-Internal**

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>HINTON K: "DISPERSION COMPENSATION USING APODIZED BRAGG FIBER GRATINGS IN TRANSMISSION"  JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, US, IEEE.  NEW YORK,  Bd. 16, Nr. 12, Dezember 1998 (1998-12);  Seiten 2336-2346, XP000826333  ISSN: 0733-8724  Zusammenfassung</p> <p>---</p> <p>-/-</p>	1

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

9. August 2000

17/08/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Malic, K

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 00/00722

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	LITCHINITSER N M ET AL: "DISPERSION OF CASCADED FIBER GRATINGS IN WDM LIGHTWAVE SYSTEMS" JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, US, IEEE. NEW YORK, Bd. 16, Nr. 8, 1. August 1998 (1998-08-01), Seiten 1523-1529, XP000786588 ISSN: 0733-8724 Zusammenfassung ----	1
A	KY N H ET AL: "EFFICIENT BROADBAND INTRACORE GRATING LP01-LP02 MODE CONVERTERS FOR CHROMATIC-DISPERSION COMPENSATION" OPTICS LETTERS, US, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, Bd. 23, Nr. 6, 15. März 1998 (1998-03-15), Seiten 445-447, XP000753367 ISSN: 0146-9592 Zusammenfassung ----	1
A	US 4 953 939 A (EPWORTH RICHARD E) 4. September 1990 (1990-09-04) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildungen 1-6 ----	1
A	EP 0 826 990 A (ALSTHOM CGE ALCATEL) 4. März 1998 (1998-03-04) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildungen 1-6 ----	1
A	EP 0 829 740 A (LUCENT TECHNOLOGIES) 18. März 1998 (1998-03-18) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildungen 1-11 ----	1
A	US 5 430 817 A (VENG SARKAR ASHISH M) 4. Juli 1995 (1995-07-04) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung ----	1
A	US 5 818 987 A (GONTHIER FRANÇOIS ET AL) 6. Oktober 1998 (1998-10-06) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildungen 1-4 -----	1

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 00/00722

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie			Datum der Veröffentlichung
US 4953939	A 04-09-1990	GB DE ES ES FR JP JP JP	2161612 A 3524527 A 545070 D 8703695 A 2567655 A 1804571 C 5007683 B 61038908 A		15-01-1986 16-01-1986 01-01-1987 01-05-1987 17-01-1986 26-11-1993 29-01-1993 25-02-1986
EP 0826990	A 04-03-1998	FR CA JP US	2752950 A 2213649 A 10090551 A 5887094 A		06-03-1998 02-03-1998 10-04-1998 23-03-1999
EP 0829740	A 18-03-1998	US AU AU JP	5740292 A 720592 B 3745397 A 10104454 A		14-04-1998 08-06-2000 19-03-1998 24-04-1998
US 5430817	A 04-07-1995	CA EP JP	2141899 A,C 0675611 A 7283786 A		01-10-1995 04-10-1995 27-10-1995
US 5818987	A 06-10-1998	FR AU AU CA EP JP	2745641 A 707442 B 1498797 A 2198768 A 0793124 A 9329719 A		05-09-1997 08-07-1999 04-09-1997 01-09-1997 03-09-1997 22-12-1997

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**